

ANALISIS PETROGRAFI DAN X-RAY DIFFRACTION UNTUK DETEKSI KALSIT NON DESTRUKTIF DARI FOSIL KARANG *PORITES* ENDAPAN TERUMBU KUARTER KENDARI, SULAWESI TENGGARA

Petrographic and X-Ray Diffraction Analysis for Non Destructive Calcite Detection of Porites Fossil Coral from Quarternary Reef from Kendari, Southeast Sulawesi

Bagus Dinda Erlangga¹, Dedi Mulyadi¹ dan Sri Yudawati Cahyarini¹

¹Pusat Penelitian Geoteknologi LIPI

ABSTRAK Komposisi utama karang adalah berupa mineral aragonit. Adanya mineral kalsit didalam karang merupakan hasil ubahan (diagenesa) dari mineral aragonit. Diagenesa merupakan proses perubahan nilai kandungan unsur kimia yang dipengaruhi oleh faktor lingkungan dan iklim. Dengan mengetahui diagenesa skeleton karang diharapkan dapat merekonstruksi iklim masa lalu. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui sejauh mana diagenesa yang terjadi pada sampel karang yang diindikasikan dengan persentasi kandungan mineral kalsit. Kandungan kalsit sebagai material diagenesis lebih dari 1% mampu mempengaruhi parameter iklim hasil rekonstruksi data kimia karang. Contoh fosil karang *Porites* dari endapan karbonat di wilayah Kendari Sulawesi Tenggara yaitu BG2, BG3-B1, dan BG3-C digunakan dalam studi ini. Hasil penelitian memperlihatkan bahwa pada ketiga sampel karang *Porites* terjadi diagenesa dari aragonit menjadi kalsit (*calcitization*) baik secara petrografi yang terlihat pada adanya struktur semen kalsit dan secara difraksi XRD diketahui dari adanya perubahan yang terjadi sebesar 0,5 - 2,9%. Contoh fosil BG3-C merupakan yang paling tinggi persentase perubahan aragonit menjadi kalsitnya, yaitu 2,9%

dibandingkan dengan dua contoh lainnya (0,5%). Hasil penelitian dari contoh karang ini dapat digunakan sebagai data pendukung untuk studi rekonstruksi iklim ataupun lingkungan dengan menggunakan data *proxy* geokimia dalam karang.

Kata Kunci: Karang *Porites*, diagenesa, petrografi dan X-ray diffraction

ABSTRACT Coral skeletons are mainly consist of aragonite mineral. Calcite mineral content in coral skeleton indicates the alteration of aragonite mineral through diagenetic process. The diagenetic materials (e.g. calcite, secondary aragonite) may influence the climate parameter reconstruction based on coral geochemical proxy. This research aimed to determine the diagenetic material (i.e. calcite amount) content in the fossil *Porites* coral samples. *Porites* samples BG2, BG3 B1 and BG3-C from Kendari carbonate terrace were used in this study. XRD analysis and petrographic analysis were used to analyze the amount of calcite mineral. The results show that three samples of *Porites* corals exhibit the structure of calcite cement (i.e. based on petrographic analysis) and calcite mineral content range from 0.5% to 2.9% (based on XRD analysis). *Porites* fossil sample BG3-C shows the highest content of calcite mineral (2.9%) and the other two samples (BG2, Bg3-B1) show 0.5% calcite mineral content. The results of this study support further study of climate reconstruction using coral geochemical proxy.

Keywords: *Porites* coral, diagenetic, petrographic and X-ray diffraction.

Naskah masuk : 15 Oktober 2015
Naskah direvisi : 12 Februari 2016
Naskah diterima : 22 Februari 2016

Bagus Dinda Erlangga
Pusat Penelitian Geoteknologi LIPI
Komplek LIPI, Jl. Sangkuriang, Bandung 40135
E-mail: bderlangga@geotek.lipi.go.id

PENDAHULUAN

Karang memiliki komposisi utama mineral aragonit (CaCO_3). Mineral aragonit bersifat metastabil sehingga dapat mengalami perubahan atau diagenesa menjadi bentuk lain yang lebih stabil (Han et al., 2006; Sabriye et al., 2012). Diagenesa tersebut dapat merupakan proses penggantian skeleton karang aragonit oleh kalsit (Bathurst, 1975). Identifikasi dan pemahaman lebih lanjut dari sifat struktur kalsit di dalam karang dapat menghasilkan informasi penting dalam studi iklim (Dalbeck, 2011). Diagenesis berpotensi menjadi sumber kesalahan dalam rekonstruksi variabel lingkungan dan iklim (McGregor & Abram, 2008). Hal ini dikarenakan proses diagenesis ini mempengaruhi nilai unsur kimia seperti Sr/Ca maupun $\delta^{18}\text{O}$ dalam karang sehingga akan dapat mempengaruhi interpretasi iklim berdasarkan hasil rekonstruksi kandungan kimia dalam karang (McGregor & Gagan, 2003; Sayani et al., 2011). Sebagai contoh diagenesis pada karang dicirikan dengan adanya alterasi aragonit menjadi kalsit, adanya aragonit sekunder (biasanya dijumpai pada karang modern/hidup). Hal ini juga menyebabkan alterasi pada unsur lain yang terkandung dalam karang yang dapat menyebabkan artefak suhu hasil rekonstruksi menjadi lebih dingin (Allison et al., 2007) ataupun lebih panas (McGregor & Gagan, 2003), sehingga perlu dilakukan analisis diagenesa pada contoh karang baik yang masih hidup (modern) maupun yang sudah mati berupa fosil (McGregor & Gagan, 2003; Hendy et al., 2007; Allison et al., 2007).

Jenis karang *Porites* merupakan salah satu karang masif yang sering digunakan dalam studi iklim masa lampau, kandungan kimia karang *Porites* seperti Sr/Ca dan juga $\delta^{18}\text{O}$ sering digunakan untuk rekonstruksi parameter iklim seperti suhu permukaan laut (Cahyarini et al., 2009) dan salinitas (Cahyarini et al., 2008; 2014). Dalam studi ini, dilakukan penelitian dengan menggunakan analisis petrografi dan XRD untuk mendeteksi kandungan kalsit dalam karang jenis *Porites* yang diambil dari endapan terumbu kuarter di wilayah Kendari, Sulawesi Tenggara (Contoh BG2, BG3-B1 and BG3-C). Hasil dari penelitian ini dapat digunakan lebih lanjut untuk studi rekonstruksi iklim masa lampau dengan contoh karang yaitu apakah contoh tersebut (Contoh BG2, BG3-B1 and BG3-C) dapat

digunakan untuk studi rekonstruksi iklim ataupun lingkungan dengan menggunakan data geokimia.

METODE

Contoh sampel karang *Porites* dari endapan karbonat berumur kuarter dari lokasi Kendari (BG) digunakan dalam studi ini. Studi ini menggunakan tiga sampel inti bor karang *Porites* (BG2, BG3-B1, BG3-C). Inti bor karang tersebut terletak pada lokasi umur teras yang sama dan pada koloni yang sama. Contoh karang *Porites* dalam studi ini merupakan fragmen dari endapan batugamping kuarter. Contoh sampel karang diambil dengan metode bor tangan dengan sumber tenaga dari tekanan udara. Contoh inti bor karang tersebut kemudian diiris menjadi bentuk lempengan (*slab*) setebal 0,5 cm, kemudian dicuci dengan *ultrasonic bath*. Sampel kemudian dipreparasi sesuai dengan kebutuhan masing-masing analisis yaitu analisis XRD dengan sampel berbentuk butiran halus dan petrografi dengan sampel sayatan tipis. Analisis *X-Ray Diffraction* (XRD) dilakukan di laboratorium fisika mineral dan petrografi dilakukan di laboratorium mikropal Pusat Penelitian Geoteknologi LIPI.

Analisis Petrografi

Untuk analisis petrografi, dibuat sayatan tipis dari sampel karang *Porites* pada sebuah plat mika ukuran 2 x 6 cm dengan tebal sayatan $\pm 0,2$ mm. Analisis sayatan tipis dapat digunakan untuk menganalisis adanya perubahan kalsit pada tingkat yang rendah (*low-level calcite*) (McGregor & Gagan, 2003). Sampel sayatan tersebut kemudian diamati menggunakan mikroskop polarisasi dengan perbesaran 100x dan mengambil foto yang representatif dari masing-masing sampel.

Analisis X-Ray Diffraction (XRD)

X-Ray Diffraction (XRD) merupakan analisis yang digunakan untuk mengidentifikasi material kristalit maupun nonkristalit, sebagai contoh identifikasi struktur kristalit (kualitatif) dan fasa (kuantitatif) dalam suatu bahan dengan memanfaatkan radiasi gelombang elektromagnetik sinar-X. Selain itu, juga dimanfaatkan untuk mengetahui rincian lain seperti susunan berbagai jenis atom dalam kristal, kehadiran cacat, orientasi, dan cacat kristal (Smallman & Bishop, 2000). Tahapan kerja XRD terdiri dari empat tahap, yaitu preparasi, difraksi,

deteksi dan interpretasi. Untuk dapat melakukan fungsinya, XRD dilengkapi dengan komponen-komponen penting seperti tabung sinar-X, *monochromator*, dan detektor.

Sebelum dilakukan analisis XRD, sampel karang sisa pemotongan dan bagian dari inti bor sampel dihaluskan dengan *Agate mortar* dan *pestle* menjadi serbuk dengan ukuran butir kurang lebih 100 mesh. Analisis XRD dilakukan dengan memasukan sampel serbuk pada cetakan alumunium (*sample holder*) yang merupakan cetakan standar untuk analisis XRD berukuran 3 x 5 cm dan tebal 1 mm. Pengukuran pola difraksi pada 2θ dimulai dari 4 - 80 derajat dengan kecepatan difraksi 4 derajat/menit. Kondisi pengoprasian XRD adalah pada 40 kV dan 30 mA dengan menggunakan radiasi $CuK\alpha$.

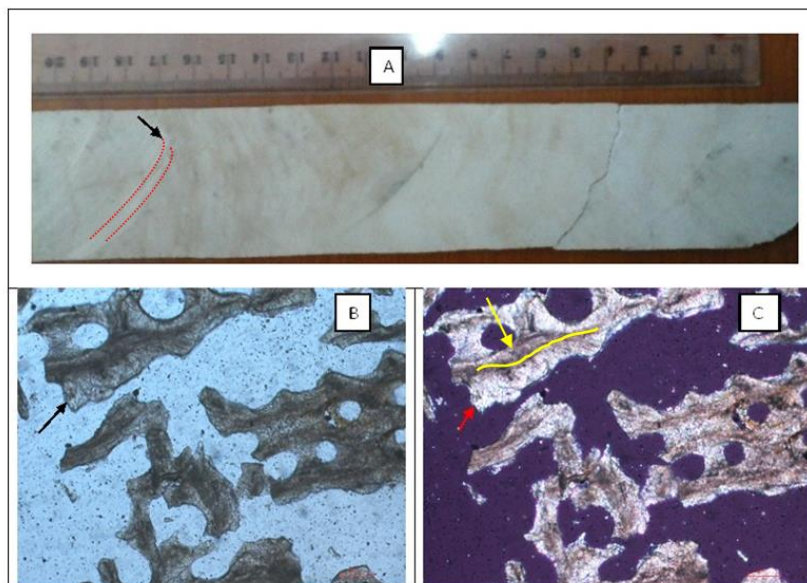
Interferensi konstruktif radiasi sinar-X tersebut akan terbaca sebagai puncak-puncak grafik yang ditampilkan oleh layar komputer. Analisis kualitatif dilakukan menggunakan standar database dari PDF-4 *International Center for Diffraction Data* (ICDD). Sedangkan kuantitatif dari hasil XRD tersebut dihitung menggunakan *software Siroquant* versi 3.0, menggunakan metode perhitungan pencocokan nonlinier (*rietveld*) dengan tingkat nilai kesalahan perhitungan sebesar $\leq 1\%$.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Analisis Petrografi

Pengamatan petrografi dengan perbesaran 100x, pada beberapa sayatan tipis karang memperlihatkan batuan karang telah mengalami proses diagenesa sementasi, jenis semen yang teramati adalah jenis semen *fibrous* (Gambar 1, 2 dan 3). Proses diagenesa semen *fibrous* termasuk kedalam lingkungan freatik air laut, dimana proses sementasi terjadi pada zona aktif (Longman, 1980).

Dari hasil analisis secara visual pada karang BG2 berwarna putih, setelah inti dipotong masih teramati garis pertumbuhan karang. Teramati adanya 2 kali pertumbuhan karang yang dibatasi oleh garis tumbuh karang yang berbeda arah (Gambar 1A). Hasil analisis petrografi memperlihatkan sayatan tipis didominasi oleh aragonit. Secara utuh dapat teramati dengan baik telah mengalami sementasi (Gambar 1B & C). Berdasarkan pengamatan sayatan tipis terlihat adanya erosi pada pusat kalsifikasi yang diduga dikarenakan organisme (*biorotting on the center of calcification*) (garis kuning pada Gambar 1C).



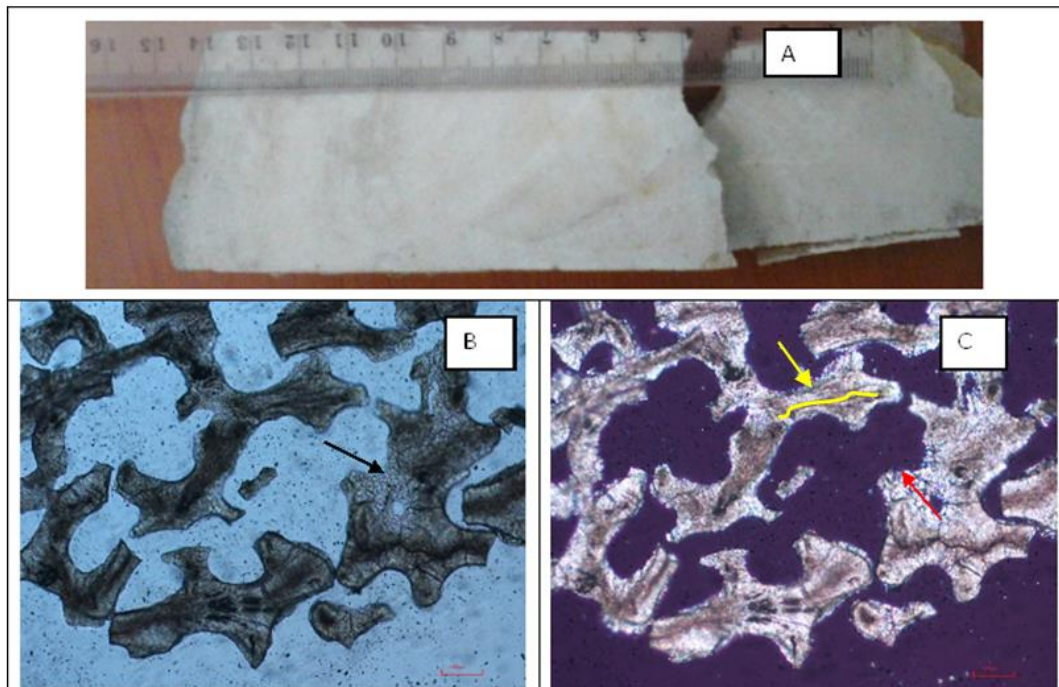
Gambar 1. Slab karang *Porites* BG2 (A) Kenampakan visual (tanda panah: garis tumbuh karang), (B) hasil mikroskop polarisasi nikol sejajar (tanda panah: struktur semen), (C) Hasil mikroskop polarisasi nikol bersilang (tanda panah, merah: struktur semen; kuning: pusat kalsifikasi).

Hasil analisis petrografi contoh karang BG3-B1 menunjukkan bahwa karang juga telah mengalami sementasi, dengan jenis semen kalsit pada foto Gambar 2 B dan C. Kalsit pada contoh karang BG3-B1 lebih terlihat jelas dibanding sampel yang pertama, dimana dibagian tengah pori memperlihatkan awal dari pertumbuhan kalsit. Erosi pada pusat kalsifikasi juga terlihat jelas pada contoh ini (garis kuning pada Gambar 2C).

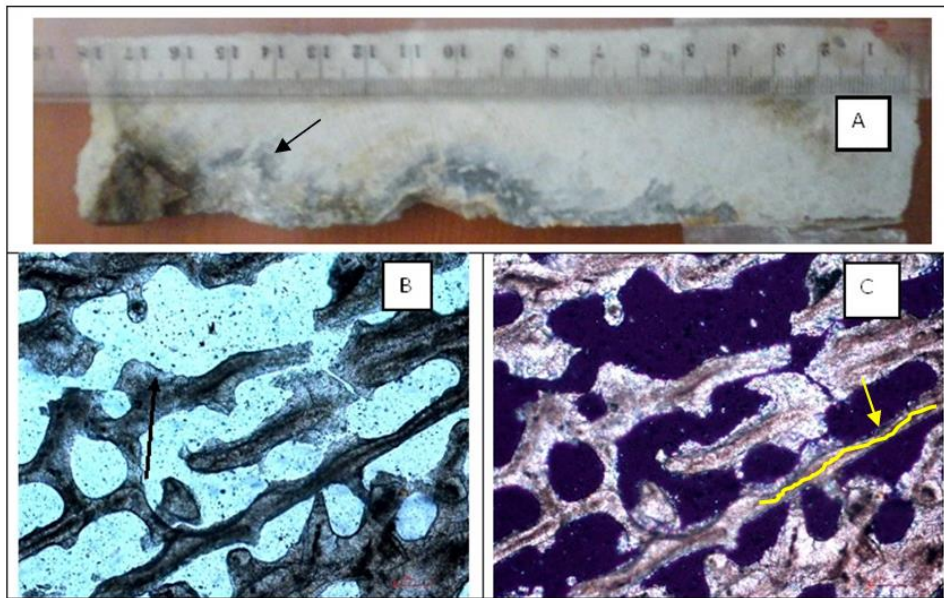
Hasil kenampakan secara visual dari contoh BG3-C menunjukkan adanya mineral kalsit yang dicirikan dengan warna hitam pekat (tanda panah Gambar 3A). Semakin gelap warna aragonit karang menandakan adanya disolusi atau perubahan (McGregor & Gagan, 2003). Perubahan ini dapat terjadi sepanjang pusat kalsifikasi atau pengapuran. Warna putih bagian foto sayatan tipis pembesaran 100x memperlihatkan telah terjadi proses diagenesa dengan teramatinya bahwa semen tipe *blocky* (panah) yang mencerminkan lingkungan *vadose zone* yang lebih aktif dibandingkan sampel sebelumnya.

Semen tipe *blocky* adalah semen kalsit yang terdiri dari kristal sedang hingga kasar tanpa menunjukkan adanya orientasi tertentu. Tipe ini dicirikan oleh ukuran kristal yang bervariasi (puluhan mikron hingga beberapa millimeter) serta terdapat perbedaan bentuk batas kristal yang jelas yaitu *high magnesium calcite* dan *low magnesium calcite*. Semen tipe ini pada umumnya terbentuk pada zona meteorik (*vadose* dan *phreatic*), air meteorik akan melarutkan batuan karang atau karbonat CaCO_3 menjadi senyawa polimorf yang lebih stabil yaitu menjadi kalsit (Dalbeck et al., 2011).

Semen aragonit atau kalsit pada butiran karbonat dapat juga terbentuk sebagai hasil rekristalisasi semen yang sudah ada sebelumnya (Flugel, 2004). Pembentukan semen atau perubahan dari mineral aragonit dapat terjadi pada zona *vadose* atau zona saturasi air yang dicirikan oleh kehadiran pengaruh air tawar pada karang. Hal ini disebabkan oleh permukaan air laut yang turun yang menyebabkan karang tersingkap ke permukaan dan mendapat pengaruh dari air



Gambar 2. Slab karang *Porites* BG3-B1 (A) Kenampakan visual slab, (B) Hasil mikroskop polarisasi nikol sejajar (tanda panah: struktur semen), (C) Hasil mikroskop polarisasi nikol bersilang (tanda panah, merah: struktur semen; kuning: pusat kalsifikasi).



Gambar 3. Slab karang *Porites* BG3-C (A) kenampakan visual, (B) hasil mikroskop polarisasi nikol sejajar (tanda panah: struktur semen), (C) Hasil mikroskop polarisasi nikol bersilang (tanda panah: pusat kalsifikasi).

meteorik atau karena proses pengisian sedimen laut secara terus menerus pada cekungan karang yang dangkal. Air meteorik ini menyebabkan aragonit dan magnesium melarut dalam air menjadi kalsit (*calcitization*). Proses ini menyebabkan konsentrasi aragonit dalam batuan karbonat berkurang dan meninggalkan rongga pada batuan karbonat, sebagian dari rongga ini ditutup oleh kalsit (sementasi oleh kalsit) dan sebagian lagi tetap berupa rongga.

Hasil Analisis X-Ray Diffraction (XRD)

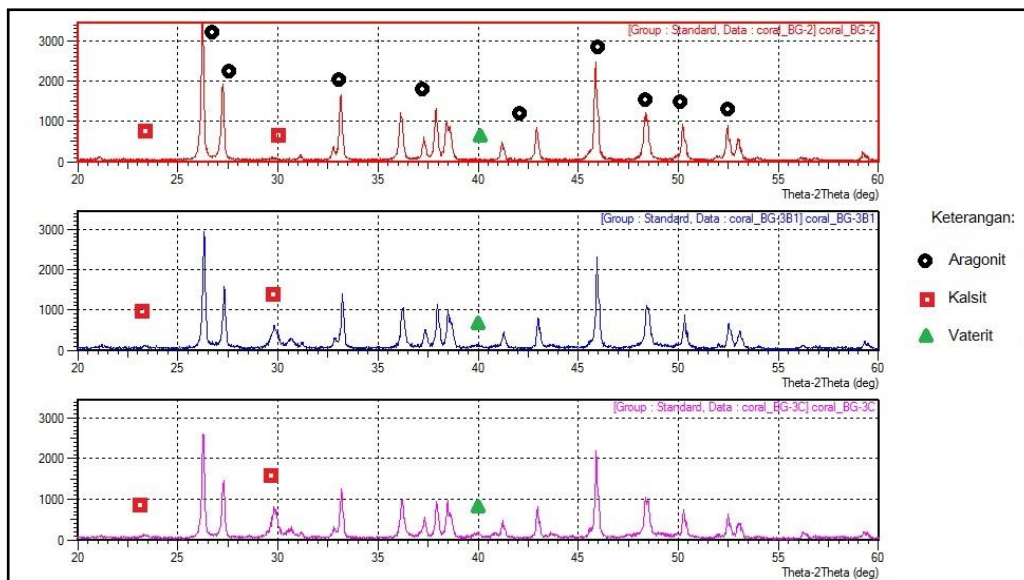
Analisis XRD menghasilkan karakteristik grafik hasil difraksi dari tiga sampel karang (BG2, BG3-B1 dan BG3-C). Hasil analisis XRD dari ketiga contoh karang tersebut mempunyai komposisi mineral yang terdiri dari aragonit, kalsit dan vaterit. Hasil grafik XRD serta identifikasi dari mineral-mineral penyusun tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.

Hasil analisis XRD menunjukkan bahwa mineral aragonit mempunyai porsi yang paling banyak, mineral kalsit lebih jelas terlihat pada sampel BG3-B1 dan BG3-C. Sedangkan mineral vaterit terlihat paling sedikit dibandingkan mineral yang lainnya. Tabel 1 menunjukkan persentase kandungan ketiga mineral tersebut.

Tabel 1. Komposisi mineral contoh karang BG (dalam %).

Mineral	persentase mineral (%)		
	BG2	BG3-B1	BG3-C
Aragonit	98,7	98,5	95,8
Vaterit	0,8	1	1,3
Kalsit	0,5	0,5	2,9

Berdasarkan persentase ketiga mineral tersebut (aragonit, kalsit dan vaterit) dapat terlihat bahwa dari ketiga contoh karang didominasi mineral aragonit. Berdasarkan banyaknya kalsit yang terbentuk menunjukkan bahwa proses diagenesa pada contoh BG3-C (2,9% kalsit) menunjukkan tingkat yang paling tinggi dibandingkan dari contoh BG2 (0,5% kalsit) dan BG3-B1 (0,5% kalsit). Hal ini mendukung analisis petrografi dari contoh BG3-C yang menunjukkan bahwa contoh karang ini lebih terpengaruh oleh proses diagenesa dibandingkan kedua contoh lainnya (yaitu BG2 dan BG3-B1). Mineral kalsit ini dapat terbentuk karena proses karbonasi yaitu pelapukan batuan oleh karbon dioksida (CO_2) yang terlarut didalam air pada segala kondisi temperatur maupun aliran gas CO_2 , sedangkan mineral vaterit terbentuk pada temperatur rendah dengan laju aliran gas CO_2



Gambar 4. Hasil analisis XRD dari contoh BG2 (atas), BG3-B1 (tengah) dan BG3-C (bawah).

tinggi (Lailiyah *et al.*, 2012). Kehadiran kalsit lebih dari 1% sudah mampu mempengaruhi nilai proksi geokimia pada karang, untuk 10% kalsit akan semakin bisa terlihat pengaruhnya pada Sr/Ca maupun $\delta^{18}\text{O}$ karang yang menunjukkan artifak suhu lebih hangat (McGregor & Gagan, 2003). Kehadiran 30% kalsit berpengaruh pada pengukuran $\delta^{18}\text{O}$ dan Sr/Ca karang yang menunjukkan artifak suhu yang lebih dingin (Sayani *et al.*, 2011). Dalam penelitian ini kehadiran kalsit adalah 2,9% pada contoh karang BG3-C, yang menunjukkan contoh ini terpengaruh oleh diagenesis. Sedangkan contoh BG2 dan BG3-B1 yang mengandung 0,5% kalsit, sehingga contoh karang ini (BG2 dan BG3-B1) masih cukup baik untuk digunakan sebagai bahan studi rekonstruksi iklim.

KESIMPULAN

Berdasarkan analisis petrografi dan *X-ray diffraction* dari tiga contoh fosil karang *Porites*, dapat disimpulkan bahwa analisis petrografi memperlihatkan telah terjadinya proses sementasi dengan tipe *blocky*. Sementasi tersebut berupa mineral kalsit yang dapat terbentuk dari proses transformasi dari mineral aragonit. Analisis XRD menunjukkan adanya mineral kalsit dalam ketiga contoh karang BG2, BG3-B1 dan BG3-C dimana terjadi perubahan aragonit menjadi kalsit secara berurutan sebesar 0,5%, 0,5% dan 2,9 %.

Persentase kalsit dan vaterit tersebut merupakan persentase tingkat pelapukan yang terjadi pada contoh karang karena proses karbonasi secara alami pada zona meteorik (*vadose* dan *phreatic*). Dari kedua analisis yaitu petrografi dan XRD dapat digunakan untuk identifikasi diagenesa aragonit menjadi kalsit. Berdasarkan prosentase kehadiran kalsit, maka contoh karang BG3-B1 dan BG3-C yang masih dapat digunakan sebagai bahan untuk studi rekonstruksi iklim sedangkan contoh BG2 tidak dapat digunakan untuk studi rekonstruksi iklim.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kepada Puslit Geoteknologi LIPI atas dana hibah riset PN9. Terima kasih juga kami ucapkan kepada saudara Jakah, Kuswandi dan Wawan atas bantuan dalam pekerjaan laboratorium. Tulisan ini berkontribusi dalam kegiatan Tematik Pusat Penelitian Geoteknologi LIPI 2016 mengenai studi iklim masa lampau dengan contoh karang.

DAFTAR PUSTAKA

Allison N., Finch, A.A., Webster, J.M., Clague, D.A., 2007. Palaeoenvironmental Records from Fossil Corals: The Effects of Submarine Diagenesis on Temperature and Climate Estimates. *Geochimica et*

- Cosmochimica Acta 71, 4693–4703, DOI:10.1016/j.gca.2007.07.026.
- Bathurst, R.G.C., 1975. Developments in Sedimentology 12, Carbonate Sediments and Their Diagenesis. Elsevier. New York, Amsterdam, Oxford, 658 pp.
- Cahyarini S.Y., Pfeiffer, M., Timm, O., Chr.Dullo, W., Garbe-Schoenberg, D., 2008. Reconstructing Seawater $\delta^{18}\text{O}$ from Paired Coral $\delta^{18}\text{O}$ and Sr/Ca Ratios: Methods, Error Analysis and Problems, with Examples from Tahiti (French Polynesia) and Timor (Indonesia). *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 72 (12), 2841-2853, DOI:10.1016/j.gca.2008.04.005.
- Cahyarini S.Y., Pfeiffer, M., Chr.Dullo, W., 2009. Calibration of the Multicores Sr/Ca records-Sea Surface Temperature: Records from Tahiti Corals (French Polynesia). *International Journal of Earth Sciences*, 98, 31-40, DOI: 10.1007/s00531-008-0323-2.
- Cahyarini S.Y., Pfeiffer, M., Nurhati, I.S., Aldrian, E., Chr. Dullo, W., Hetzinger, S., 2014. Twentieth century sea surface temperature and salinity variations at Timor inferred from paired coral $\delta^{18}\text{O}$ and Sr/Ca measurements. *Journal of Geophysical Research*, 119, 4593-4604, DOI: 10.1002/2013JC009594
- Dalbeck, P., Cusack, M., Dobson, P.S., Allison, N., Fallick, A.E., Tudhope, A.W., EIMF, 2011. Identification and Composition of Secondary Meniscus Calcite in Fossil Coral and the Effect on Predicted Sea Surface Temperature. *Chemical Geology*, 280 (3), 314–322.
- Flügel, E., 2004. *Microfacies of Carbonate Rock: Analysis Interpretation and application* Springer, Inc., New York, 575- 583.
- Han, Y.S., Hadiko, G., Fuji, M., Takahashi, M., 2006. Factors Affecting the Phase and Morphology of CaCO_3 Prepared by a Bubbling Method. *Journal of the European Ceramic Society*, 26(4-5), 843-847.
- Hendy E.J., Gagan M.K., Lough, J.M., McCulloch, M., deMenocal, P.B., 2007. Impact of Skeletal Dissolution and Secondary Aragonite on Trace Element and Isotopic Climate Proxies in *Porites* Corals. *Paleoceanography*, 22, PA4101, DOI: 10.1029/2007PA001462.
- Lailiyah, Q., Baqiya, M.A., Darminto., 2012. Pengaruh Temperatur dan Laju Aliran Gas CO_2 pada Sintesis Kalsium Karbonat Presipitat dengan Metode *Bubbling*. *Jurnal Sains dan Seni ITS*, 1 (1), 1-5.
- Longman W.M., 1980. Carbonate Diagenetic Textures from Near Surface Diagenetic Environments. *The American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 64, 461-487.
- McGregor, H.V., and Gagan, M.K., 2003. Diagenesis and Geochemistry of *Porites* Corals from Papua New Guinea: Implications for Paleoclimate Reconstruction. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 67, 2147-2156, DOI: 10.1016/S0016-7037(02)01050-5.
- McGregor, H.V. and Abram, N.J., 2008. Images of Diagenetic Textures in *Porites* Corals from Papua New Guinea and Indonesia. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 9 (10), DOI: 10.1029/2008GC002093.
- Sabriye, Piskin, Ozgul., Ozdemir, D., 2012. Effect of Process Conditions on Crystal Structure of Precipitated Calcium Carbonate (CaCO_3) From Fly Ash: Na_2CO_3 Preparation Conditions. *International Journal of Biological, Ecological and Environmental Sciences (IJBEES)*, 1(6), 192-195.
- Sayani, H.R., Cobb, K.M., Cohen, A.L., Elliott, W.C., Nurhati, I.S., Dunbar, R.B., Rose, K.A., Zaunbrecher, L.K., 2011. Effects of Diagenesis on Paleoclimate Reconstructions from Modern and Young Fossil Corals. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 75, 6361-6373, DOI:10.1016/j.gca.2011.08.026.
- Smallman, R.E., and Bishop, R.J., 2000. *Metalurgi Fisik Modern dan Rekayasa Material*. Jakarta: Erlangga, 145 pp.